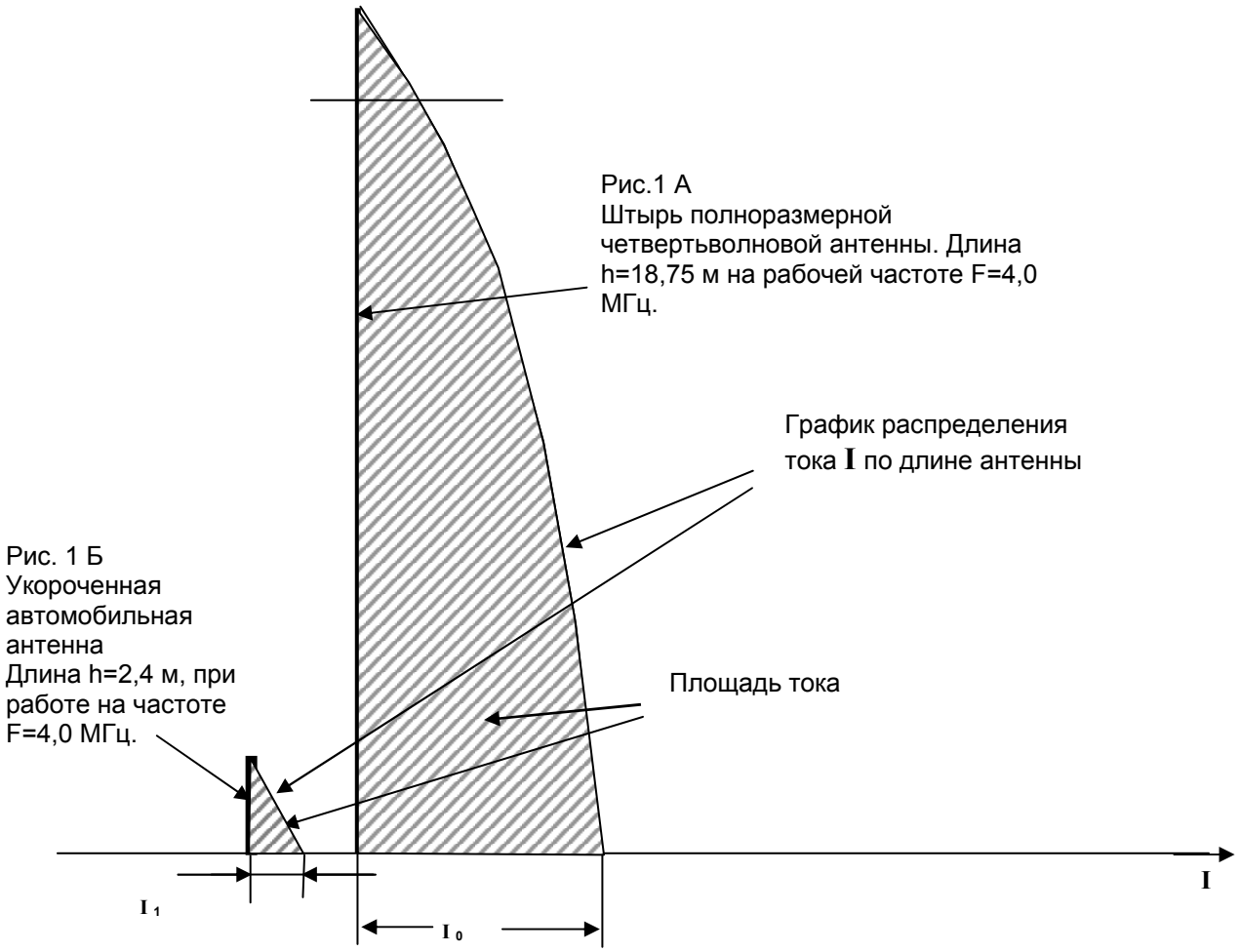
Мобильные антенны КВ диапазона.

Для подвижной связи с небольшими мобильными объектами (автомобилями, катерами) на дальние расстояния (свыше 50 км) используется связь в диапазоне КВ (1,8 – 30 МГц). Если на базовой КВ радиостанции можно применять полноразмерные антенные устройства, которые в диапазоне КВ занимают достаточно много места, то на мобильном объекте габариты антенны весьма ограничены. Поэтому на автомобили, катера и другие мобильные объекты устанавливаются укороченные КВ антенны. Как правило, на автомобиле применяется «укороченная» вертикальная штыревая антенна, которая обладает наименьшими габаритами и весом. Термин «укороченная» в данном случае означает, что длина этой антенны значительно меньше четверти длины рабочей волны радиостанции. В самом деле, при рабочей частоте **F = 4, 0** МГц длина волны составляет **λ= 75** метров. Полноразмерная штыревая антенна для этой частоты имеет длину **h= λ/4 = 18,75 м**.

Понятно, что антенну такой длины на автомобиле разместить довольно сложно. Поэтому в автомобилях обычно применяются штыревые антенны длиной не более 3,6 м и не менее 2,0 м. Самый распространенный размер антенны – 2,2 - 2,4 м. Это соответствует полноразмерной четвертьволновой антенне для частоте 30 МГц и составляет всего 0,05 часть длины полноразмерной антенны на частоте 1,8 МГц, которая составляет 41 м. Как же меняются характеристики антенны при таком укорочении? Рассмотрим пример укорочения антенны для частоты F=4,0 МГц. На этой частоте антенна длиной 2,4 м составляет всего 0,128 часть от полноразмерной четвертьволновой антенны.

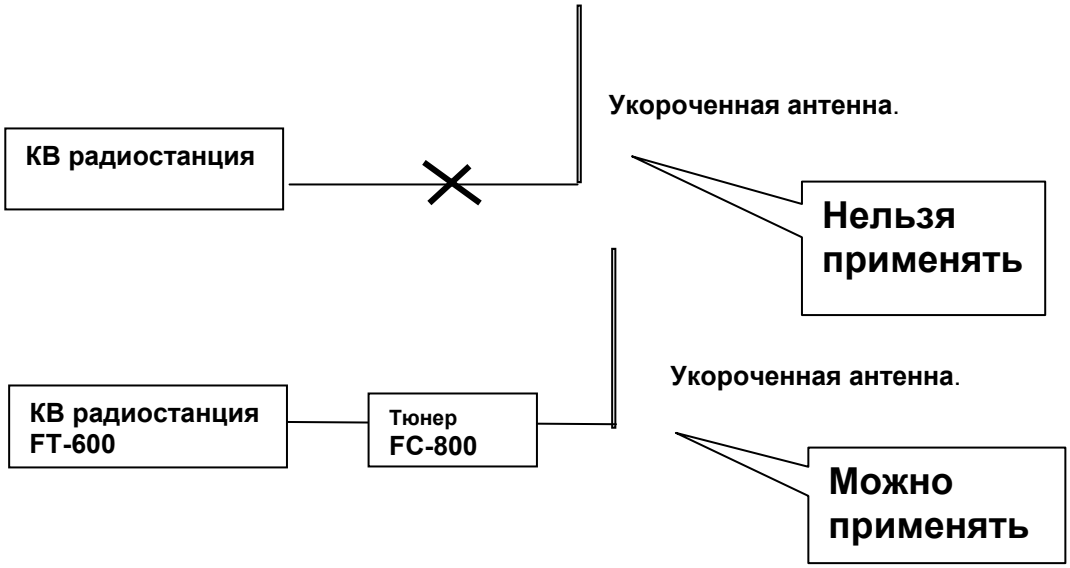


Из рисунка видно, что при укорочении антенны значительно уменьшается максимальный ток антенны I_0, а также площадь тока (заштрихованная зона), величина которой, влияет на характеристику излучения антенны, чем площадь тока больше, тем выше эффективность антенны. Укорочение антенны можно представить так, как будто полноразмерная антенна работает только своим кончиком, равным по длине укороченной антенне.

Такая укороченная антенна, уже не настроена в резонанс на рабочей длине волны, поэтому возникает рассогласование выходного тракта радиостанции с антенной. Мощность, отдаваемая

радиостанцией в антенну, практически не излучается в пространство, а возвращается (отражается от антенны) обратно в радиостанцию, что приводит не только к отсутствию радиосвязи, но и к выходу из строя выходного каскада передатчика радиостанции.

Для того чтобы устранить это рассогласование, в профессиональных системах связи применяется антенное согласующее устройство – выносной антенный тюнер. Антенный тюнер предназначен для согласования выходного тракта передатчика радиостанции с антенной на всех рабочих частотах. Как правило, профессиональная КВ радиостанция имеет штатный выносной автоматический антенный тюнер. Так, для радиостанции SYSTEM-600 фирмы Vertex Standard применяется тюнер FC-800.



Если укороченную антенну подключить к радиостанции через антенный тюнер, то условие согласования антенны с радиостанцией будет соблюдено. Радиостанция уже не будет выходить из строя из-за ненастроенной антенны, но эффективность работы антенны будет мала, потому что токи в антенне (I_1) останутся ограниченными, (см. рис.2А). Мощность, подводимая к антенне, будет составлять малую часть от мощности, выделяемой радиостанцией. Основная часть мощности будет гаситься в антенном тюнере, как плата за согласование.

Самый действенный способ повысить эффективность антенны, это настроить с помощью дополнительных средств сам штырь антенны на рабочую частоту. Однако, надо помнить, что с помощью этих средств нельзя повысить эффективность антенны до эффективности полноразмерной четвертьволновой антенны. Можно лишь в некоторых пределах улучшить КПД укороченной антенны.

Способов настройки несколько. Вот они.

1. Катушка индуктивности в основании штыря.
2. Катушка индуктивности в середине штыря.
3. Спиральная антенна с равномерной намоткой
4. Спиральная антенна с неравномерной намоткой.

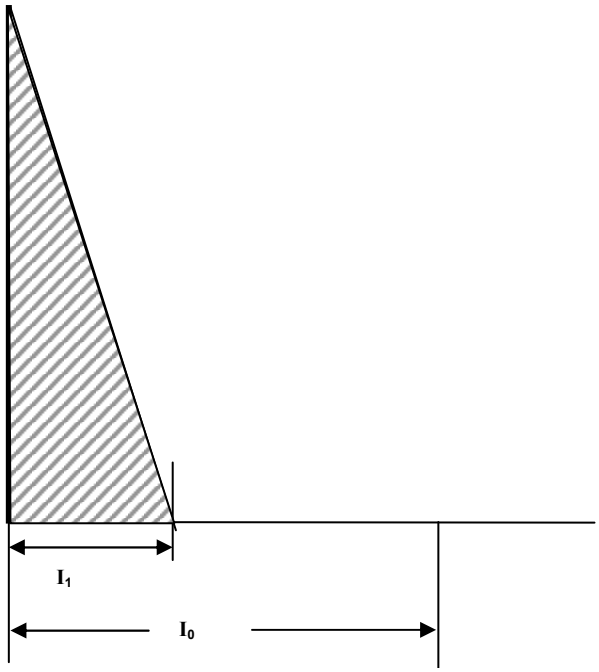


Рис.2А.
График распределения тока вдоль антенны. Ненастроенный укороченный штырь. Длина штыря h=2,4 м., частота F=4,0 МГц.
Антенна не настроена в резонанс. Согласование производится с помощью антенного тюнера.
I_0 – Максимальный ток на входе антенного тюнера, или ток на входе четверть волнового штыря
I_1 – максимальный ток на входе укороченной антенны.

5. Спиральная антенна с неравномерной намоткой и добавочным штырем.

Рассмотрим эти способы настройки.

1. Катушка индуктивности в основании антенного штыря. Рис 2Б

Настройка укороченной антенны на рабочую частоту с помощью катушки индуктивности в основании антенны широко распространена. Катушка находится на уровне наибольшего тока антенны, поэтому ее влияние на настройку антенны максимально – можно использовать катушку меньшего размера, хотя приходится несколько увеличивать диаметр провода катушки. Конструкция наиболее механически прочна, т.к. тяжелая катушка находится в самой низкой точке антенны. Но главный недостаток состоит в том, что площадь тока увеличивается незначительно, (практически не увеличивается), по сравнению с антенной, настраиваемой с помощью тюнера. Такое применение катушки оправдано только тем, что оно может помочь тюнеру в настройке на более низкие частоты. КПД антенны при этом, практически, не увеличивается.

I_1 - ток на входе антенны без катушки индуктивности.

I_2 – ток на входе антенны с катушкой индуктивности.

I_0 - ток на входе четверть волнового штыря.

$I_2 = I_0$ – это условие настройки укороченной антенны с помощью катушки.

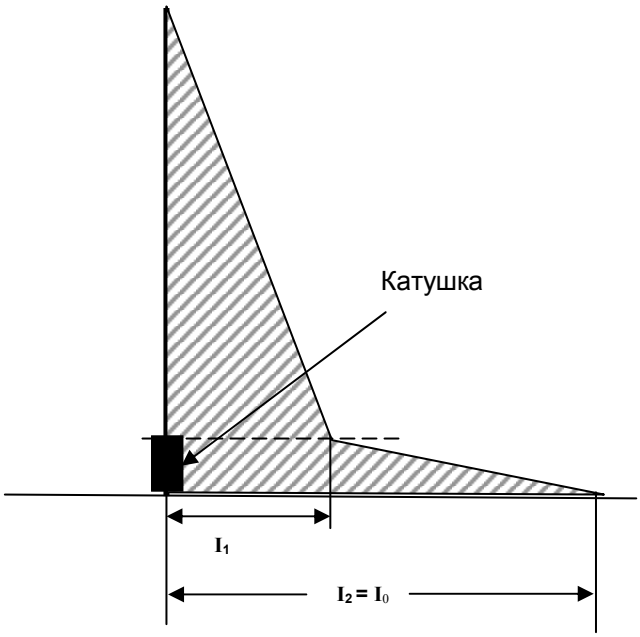


Рис.2 Б
Катушка в основании штыря. Длина штыря h=2,4 м., частота F=4,0 МГц. Антенна настроена в резонанс на рабочей частоте, но площадь тока увеличена незначительно.

2. Катушка в середине штыря. Рис. 2В

Катушка, установленная в середине штыря, наиболее эффективна. Конструкция обладает достаточной механической прочностью. Из-за установки катушки в области малых токов влияние катушки меньше, чем при ее расположении в основании антенны, поэтому приходится увеличивать количество витков катушки, хотя можно использовать более тонкий провод. Площадь тока увеличивается значительно, что максимально повышает КПД антенны.

I_1 - Ток на входе антенны без катушки индуктивности.

I_2 – ток на входе антенны с катушкой индуктивности.

I_0 - ток на входе четверть волнового штыря.

$I_2 = I_0$ это условие настройки укороченной антенны с помощью катушки.

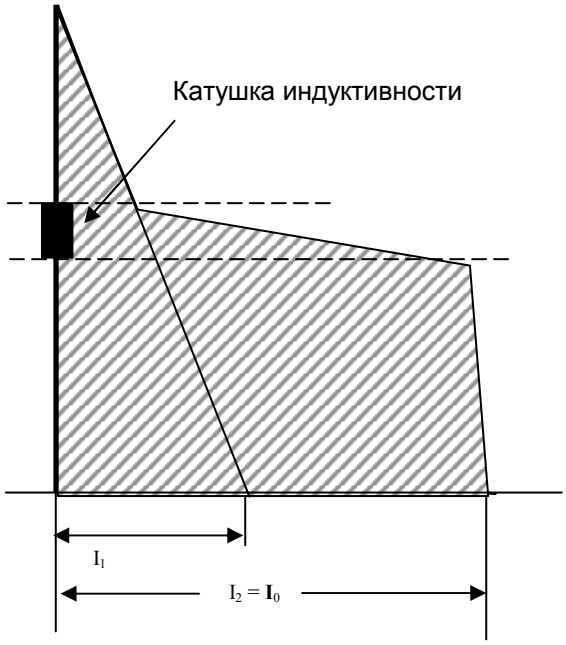


Рис.2 В
Катушка в середине штыря. Длина штыря h=2,4 м., частота F=4,0 МГц.
Антенна настроена в резонанс на рабочей частоте. Площадь тока увеличена значительно.

3. Катушка на вершине штыря. Рис.2Г

На первый взгляд катушка на вершине штыря может быть наиболее эффективна, т.к . должна дать наибольшее увеличение площади тока. Но это только теоретически, а практически получается так, что из-за малого тока на вершине штыря катушка практически не дает эффекта. Приходится сильно увеличивать количество ее витков, необходимых для настройки на нужную частоту. Так, что, практически, катушка увеличивается до размеров, сравнимых с длиной штыря. Конструкция получается тяжелая и не прочная. Кроме того, из-за того, что катушка установлена в зоне наибольшего напряжения, возникает опасность пробоя между витками, а также возникновение тлеющего разряда и электрической дуги. Все это приводит к невозможности использования данной конструкции. **На практике она никогда не применяется.**

I_2 – ток на входе антенны с катушкой индуктивности.

I_0 - ток на входе четверть волнового штыря.

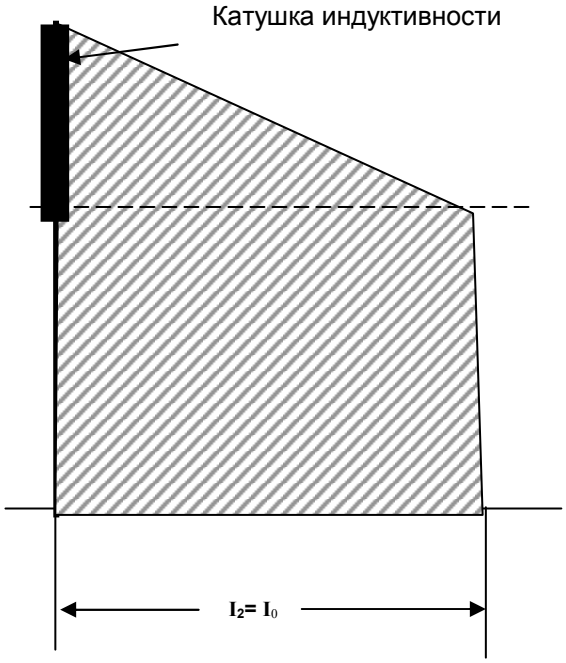


Рис.2 Г

Катушка на вершине штыря. Длина штыря h=2,4 м., частота F=4,0 МГц.

Опасность электрического пробоя. **На практике не применяется.**

3. Спиральная антенна с равномерной намоткой. Рис. 3А

Эта антенна несколько отличается по конструкции от простой штыревой антенны. Здесь уже нет металлического штыря, вместо него используется стеклопластиковый стержень или трубка, на которую наматывается обычный одножильный провод с некоторым шагом, так чтобы индуктивность этой получившейся «растянутой» катушки обеспечила настройку на рабочую частоту. В результате конструкция получается чрезвычайно прочная и легкая. Благодаря тому, что катушка как-бы распределена по всей длине антенны, распределение тока вдоль антенны получается равномерным. Но площадь тока при этом увеличивается средне. Применяется не часто.

I_2 - ток на входе антенны с катушкой индуктивности.

I_0 - ток на входе четверть волнового штыря.

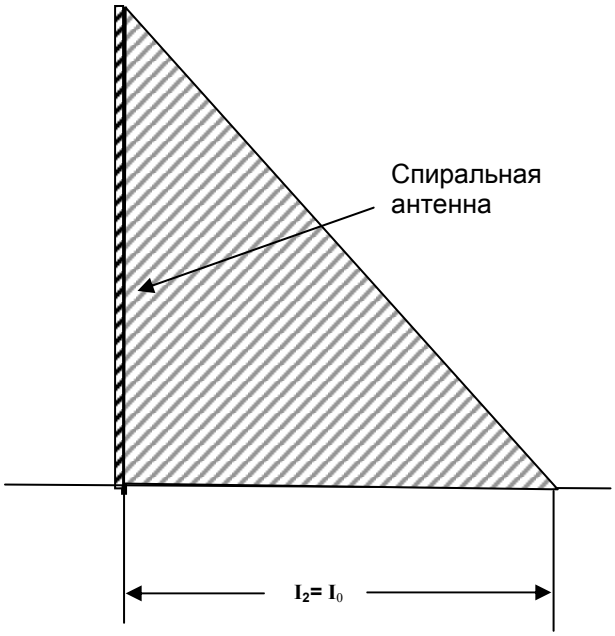


Рис.3А

Спиральная антенна с равномерной намоткой. Длина штыря h=2,4 м., частота F=4,0 МГц.

Антенна настроена в резонанс на рабочей частоте, но площадь тока увеличена средне.

4. **Спиральная антенна с неравномерной намоткой. Рис.3Б**

Совсем другой эффект дает неравномерная намотка спиральной антенны. Уменьшение шага намотки в одном месте ближе к вершине антенны дает максимальное увеличение площади тока антенны, и, как следствие, максимальное повышение эффективности излучения.

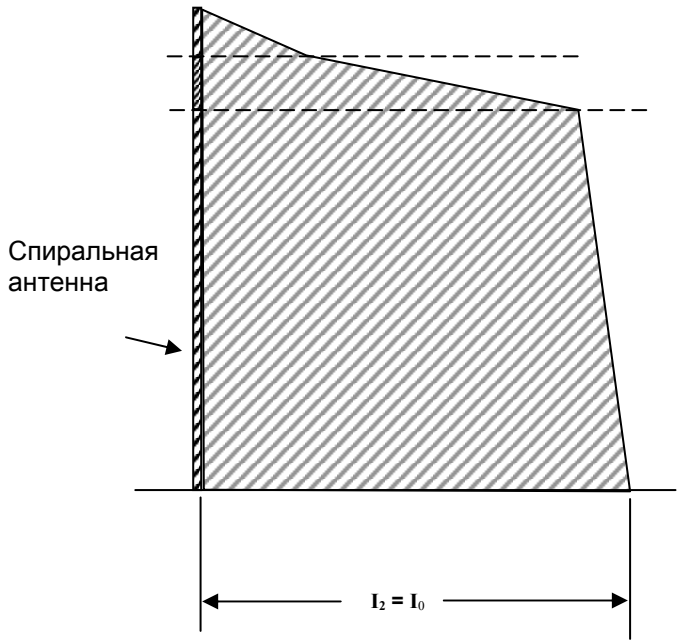


Рис.3Б Спиральная антенна с неравномерной намоткой.
Длина штыря h=2,4 м., частота F=4,0 МГц. Антенна настроена в резонанс на рабочей частоте, площадь тока увеличена максимально.

5. **Спиральная антенна с неравномерной намоткой и с добавочным штырем. Рис. 3В**

Усовершенствование предыдущей конструкции – добавление на вершине спиральной антенны легкого металлического штыря с возможностью его настройки путем укорочения. Штырь фиксируется в нужном положении специальным упорным винтом. Это дает возможность в реальных условиях оперативно подстроить антенну в некоторых пределах на нужную верхнюю рабочую частоту. Конструкция остается легкой и прочной с максимальным увеличением площади тока.

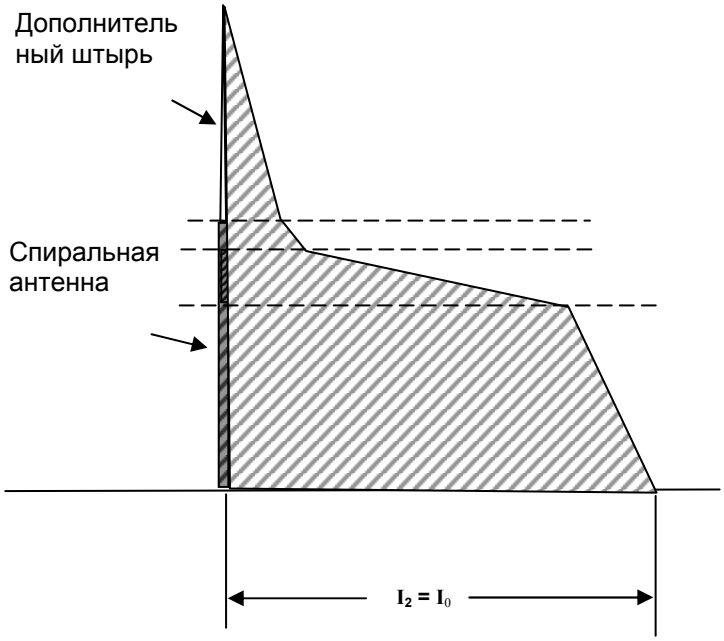


Рис.3В
Спиральная антенна с неравномерной намоткой и с добавочным штырем. Общая длина h =2,4 м., частота F = 4,0 МГц. Антенна настроена в резонанс на рабочей частоте, площадь тока увеличена значительно. С помощью добавочного штыря можно настроить антенну в резонанс.

Из приведенного анализа конструкций можно сделать вывод, что наиболее удачными и эффективными являются конструкции:

- **Рис.2В – Штыревая антенна с катушкой в середине.**
- **Рис.3В – Спиральная антенна с неравномерной намоткой и настроечным штырем.**

Определение оптимального местоположения удлинительной катушки.

При использовании антенны с удлинительной катушкой возникает вопрос, в какое место штыря поместить катушку для обеспечения максимального КПД антенны? На приведенном графике видно изменение КПД антенны в зависимости от размещения катушки.

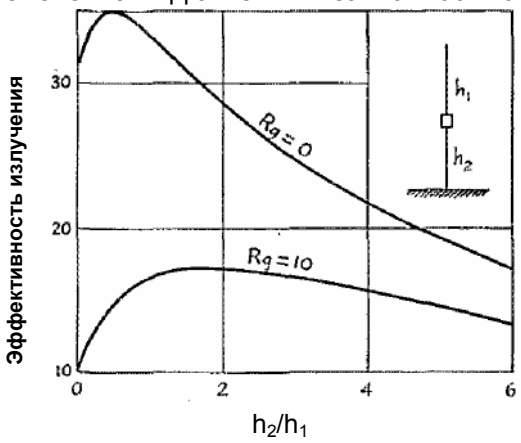


Рис.7 — График оптимального положения катушки**.**

Если мы выбираем катушку, с добротностью Q = 300, и сопротивление потерь в земле R_g = 10 Ом, то график на рис. 7 показывает расчетное изменение КПД антенны с отношением h_2/h_1. Отношение h_2/h_1 = 0, конечно, случай размещения катушки в основании антенны.

Из графика видно, что лучшее «местоположение» для катушки находится приблизительно в центре излучателя (или h2/h1 = 1). Показана также кривая без сопротивления потерь в земле (R_g = 0). Отмечено, что оптимальное местоположение катушки несколько смещено к точке ввода, т.е. ниже середины, поскольку здесь уменьшено сопротивление потерь в земле.

Проведем расчет эффективности антенны с катушкой посередине по сравнению с укороченной антенной без катушки.

1. **Рассчитаем КПД укороченной антенны h_1 без настроечной катушки.**

$$\eta = \frac{R_r \ 100\ \%}{R_r + R_g},$$

Где, η – КПД укороченного штыря.

R_r – сопротивление излучения укороченного штыря.

R_g – сопротивление потерь в грунте.

$R_r = 0{,}01215 A_1^2$ Ом

A_1 – площадь под кривой тока укороченной антенны в град-Ампер.

$$G_1 = \frac{h_1\ 90^o}{h_0} = \frac{2.4 * 90^o}{18.75} = 11{,}52^o$$ -.

высота укороченной антенны в градусах

Если принять ток $I_0 = 1$, то ток I_1 будет равен:

$I_{1max} = I_0 \sin G_1 = 1 * \sin 11{,}52^o =$
$= 0{,}1997$ Ампер

$$A_1 = \frac{G_1 * I_1}{2} = \frac{11{,}52^o * 0{,}1997}{2} =$$

$= 1{,}15$ град- Ампер

$R_r = 0{,}01215 * (1{,}15)^2 = 0{,}0161$ Ом

$$\eta = \frac{0{,}0161 \ * 100\ \%}{0{,}0161 + 10} = 0{,}16\%$$

Мы видим, что η - КПД такой антенны весьма мал, и сильно зависит от величины сопротивления потерь R_g, т.к. сопротивление излучения R_r мало.

Рис. 4

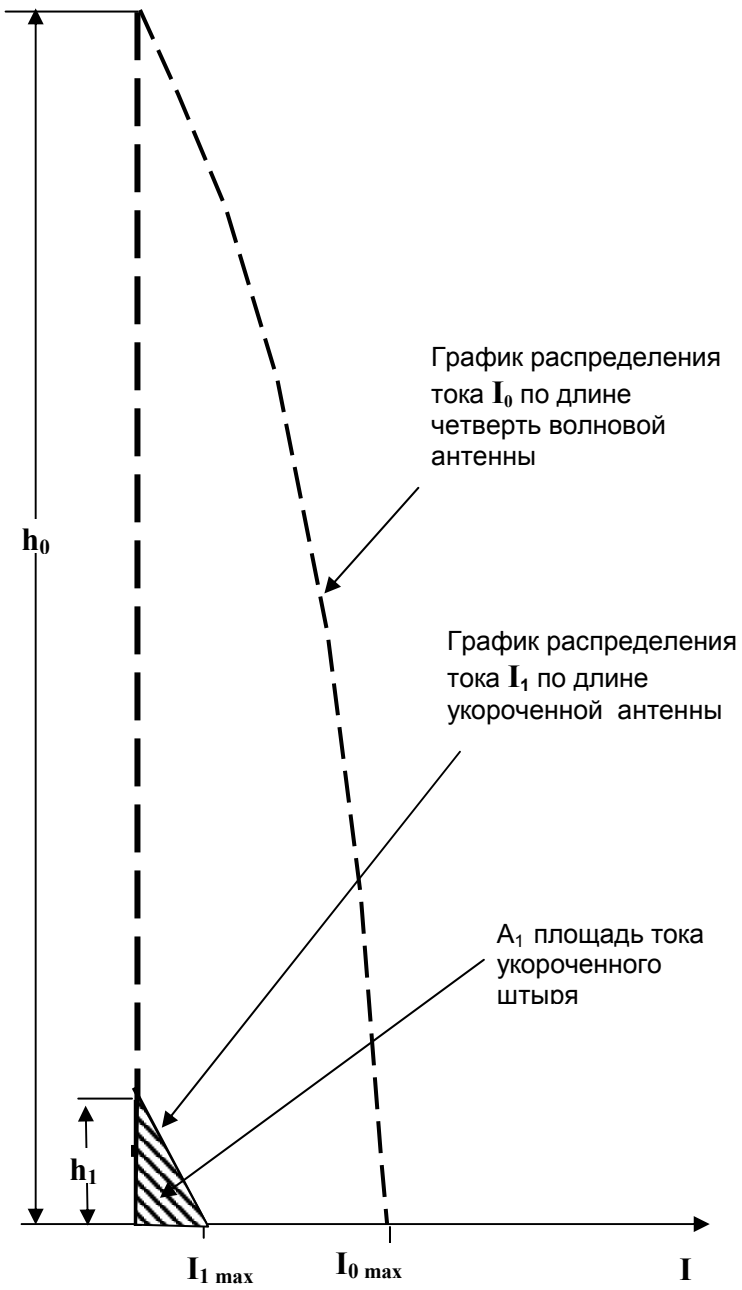
F=4,0 МГц – рабочая частота

h_1= 2,4 м - длина укороченной автомобильной антенны

h_0 = 18,75 м - длина полноразмерной четвертьволновой антенны

I_{1max} – ток на входе укороченной антенны

I_{0max} - ток на входе четвертьволновой антенны



2. КПД укороченной антенны с катушкой в середине.

$h_1 = h_2 = 1.2$ m – Длина нижней и верхней секции антенны,

$$G_1 = G_2 = \frac{h_2 * 360^o}{\lambda} = \frac{h_1 * 360^o}{\lambda} = 5.76^o$$

- электрическая длина в градусах этих секций антенны.

$$\lambda = \frac{c}{F} = 75 \text{ м}$$

- рабочая длина волны.

c – скорость света в вакууме.

$$I_{h1} = (I_{0\,max} \sin G_2) =$$

$$= I_{0\,max} * 0.1004 = 1 * 0{,}1004$$ – ток верхней секции.

$$A_2 = \frac{I_{h1} * G_1}{2} + I_{0\,max} * G_2$$

$$= \frac{I_{0\,max} * 0.1004 * G_1}{2} + I_{0\,max} * G_2 =$$

$$= \frac{1 * 0.1004 * 5.76^o}{2} + 1 * 5.76^o$$

$$= 0.2891 + 5.76 = 6.049$$ **град-ампер** – площадь тока укороченного штыря с катушкой в центре.

Сопротивление излучения:

$$R_r = 0{,}01215 * (6{,}049)^2 = 0{,}44 \text{ Ом}$$

Рис. 5

F=4,0 МГц – рабочая частота

h_1= 1.2 м - длина верхней части антенны

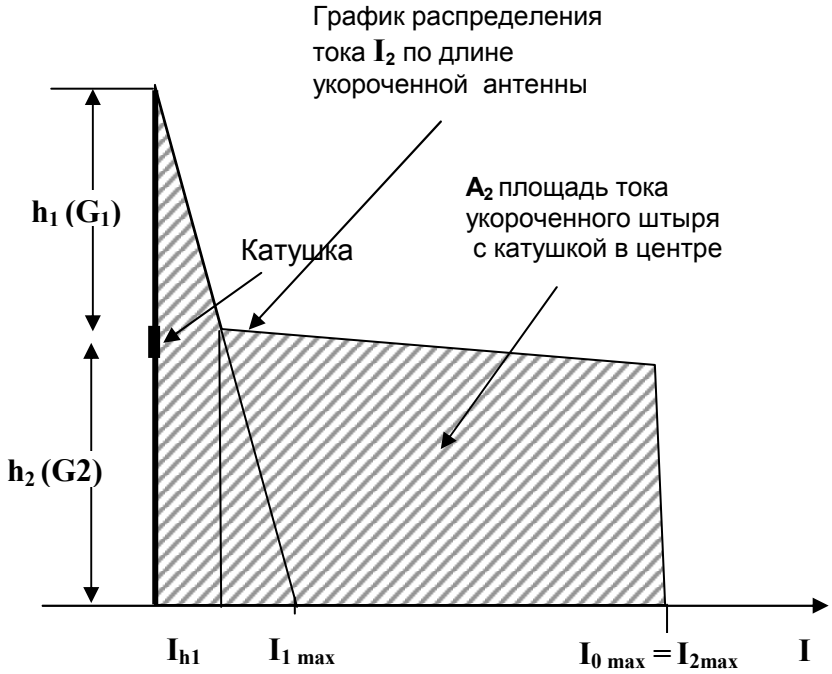
h_2 = 1,2 м - длина нижней части антенны

I_{0max} - ток на входе четвертьволновой антенны

I_{2max} - ток на входе укороченной антенны с катушкой

$I_{2max} = I_{0max}$ - условие настройки укороченной антенны с помощью катушки

I_{1max} – ток на входе укороченной антенны без катушки



Теперь необходимо найти сопротивление потерь в катушке R_o. Для определения R_0 необходимо сделать ряд предварительных расчетов.

Реактивное емкостное сопротивление укороченной антенны должно быть скомпенсировано посредством настроечной катушки, установленной в центре штыря.

Характеристическое сопротивление укороченной антенны равно:

$$Zo = 138 \lg \frac{2h}{r}$$, - волновое сопротивление штыря.

h = средняя высота излучателя над грунтом.

r = средний радиус излучателя.

Если антенна закреплена на бампере, то высота крепления над землей – h_3 = 0,6 м.

Отсюда,

$$h = \frac{(h_1 + h_2) + h_3}{2} =$$

$$= \frac{2.4 + 0.6}{2} = 1.5 \text{ м}$$

r = 0.003 м

$$Zo = 138 \lg \frac{2 * 1.5}{0.003} = 138*3 = 414 \text{ Ом}$$

Для штыря с катушкой в середине:

$jX_{h1} = - jZ_0 \, Ctg \, G_1$ – реактивное сопротивление верхней части штыря.
$jX_{h2} = jZ_0 \, tg \, G_2$ – реактивное сопротивление нижней части штыря.
jX_{L0} – реактивное сопротивление катушки.

Исходя из условия резонанса, реактивные сопротивления на входе антенны должны быть скомпенсированы.

$$- jX_{Lo} - jZ_0 \, Ctg \, G_1 + jZ_0 \, tg \, G_2 = 0$$

$$jX_{Lo} = jZ_0 \, (Ctg \, G_1 - tg \, G_2) = j \, 414 \, (Ctg \, 5.76^o - tg \, 5.76^o) = j \, 414 * 9.8129 = j4063 \text{ Ом.}$$

При применении катушки с добротностью 300, сопротивление потерь в катушке
R_0 = 4063 / 300 = 13,54 Ом.

Тогда КПД будет равен.

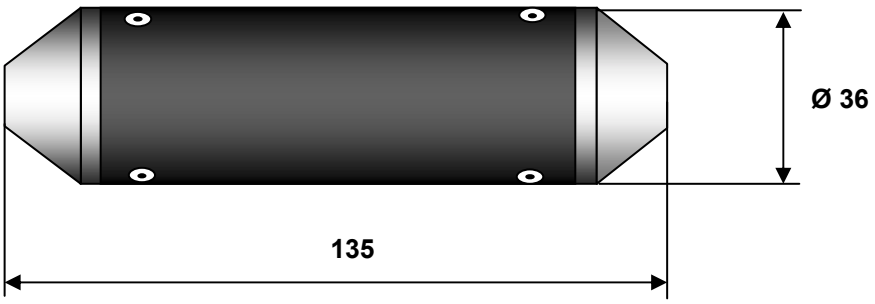
$$\eta = \frac{0.44 \quad (100)}{0.44 + 10 + 13.54}\% = 1.8 \%$$

Как видно, КПД без катушки равен η = 0,16%, а КПД с катушкой η = 1,8%, т.е. КПД с катушкой возрос более чем в 10 раз.

При работе только на одной частоте настроенная с помощью катушки антенна обеспечивает нормальную работу радиостанции без антенного тюнера. Но при этом работа в диапазоне частот невозможна. Для работы на нескольких частотах поступают следующим образом: антенна настраивается с помощью катушки на верхнюю частоту рабочего диапазона частот, а на все частоты ниже верхней частоты, антенну настраивает антенный тюнер. Частоты выше частоты настройки антенны обычно не доступны (тюнер на них не может настроиться, т.к. ему необходимо компенсировать слишком большую реактивность, входной импеданс составляет величину в несколько кОм), пока вы не дойдете до частот, на которых электрическая длина антенны больше 0,5 λ. Тогда реактивность антенны меняет знак на противоположный, сопротивление антенны становится равным десяткам и единицам Ом и тюнер уже становиться в состоянии ее скомпенсировать.

По исследованиям австралийской фирмы «Moonraker», ощутимый выигрыш дает настройка антенны при помощи дополнительной катушки при работе на частотах ниже 10 МГц . На частотах выше 10 МГц можно использовать ненастроенную антенну без катушки совместно с антенным тюнером, без особого ущерба для эффективности связи.

Фирма АТК предлагает автомобильные штыревые КВ антенны из титанового сплава типа HF ATM-2 (2,4 м), HF ATM-3 (3,6 м). Для этих антенн имеются катушки фирмы «Радант» типа «КИ-10/8»(резьба М10/М8) мм, «КИ-10/6» (резьба М10/М6). Катушки при заказе изготавливаются настроенными на 4, 6, 8, 10 МГц. Эти катушки могут устанавливаться на все антенны HF ATM-2. Установка катушки чрезвычайно проста. Необходимо развинтить секции антенны, удалить соединительную втулку. Вместо нее навернуть катушку по резьбе М10 на нижнюю секцию антенны, а затем ввернуть верхнюю секцию антенны в верхнее резьбовое отверстие катушки. Т.е. катушка используется вместо соединительной втулки для соединения двух секций антенны.



Катушка КИ-10/8, КИ-10/6